

ANALISIS KERENTANAN AIRTANAH TERHADAP PENCEMARAN DI DATARAN ALLUVIAL KOTA SEMARANG MENGGUNAKAN METODE GOD DENGAN MEMANFAATKAN DATA RESISTIVITAS DAN DATA HIDROGEOLOGI

Dhana Hastuti¹⁾, Tony Yulianto¹⁾, Thomas Triadi Putranto²⁾

¹⁾ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: hana@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Groundwater is the water resources necessary for living things and the most desirable human. Groundwater needs to increase as the population increase. One example is in the Alluvial Plain of Semarang. To supply water necessary, the population use a tap of aquifer shallow wells. Shallow aquifer vulnerable to contamination due to the effect of shallow depth and human activities. Therefore there is a needed to conduct for research on the groundwater vulnerability due to contamination. GOD is the system to determine of value groundwater vulnerability due to contamination. The parameters used are the type of aquifer (G), type of lithology aquitard (O), and the depth to groundwater table (D). These three parameters derived from resistivity data and hydrogeology data. The results of the analysis by this method has three levels of vulnerability of groundwater due to contamination the area of the vulnerability of low, moderate, and high. So it is recommended that the analysis can be made of the green open area to reduce contamination and groundwater catchment area is formed, and restrict the activities to achieve economic gains and reduce the danger of environmental contamination.
Keywords: *Groundwater, Groundwater vulnerability, GOD*

ABSTRAK

Airtanah merupakan sumber daya air yang diperlukan bagi makhluk hidup dan paling diminati manusia. Kebutuhan airtanah meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk. Salah satu contohnya berada di Dataran Alluvial Kota Semarang. Untuk memenuhi kebutuhan air, penduduk masih menggunakan sumur gali yang menyadap dari akuifer dangkal. Akuifer dangkal rentan terhadap pencemaran akibat pengaruh kedalaman yang dangkal dan aktivitas manusia. Oleh karena itu perlu adanya penelitian mengenai kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Untuk mengetahui nilai tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di daerah penelitian menggunakan metode pendekatan geospasial (*GOD Rating System*). Parameter yang digunakan yaitu jenis akuifer (G), jenis litologi akuitar (O), dan kedalaman muka airtanah (D). Ketiga parameter tersebut diperoleh dari data resistivitas dan data hidrogeologi. Hasil analisis dengan metode ini memiliki tiga tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran yaitu daerah kerentanan rendah, menengah, dan tinggi. Jadi analisis tersebut dapat direkomendasikan yaitu membuat kawasan terbuka hijau untuk mengurangi pencemaran dan terbentuk ruang resapan airtanah, serta membatasi kegiatan untuk memperoleh keuntungan ekonomi dan mengurangi bahaya pencemaran lingkungan.

Kata kunci: *Airtanah, Kerentanan airtanah, GOD*

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu komponen yang paling penting bagi makhluk hidup. Airtanah merupakan sumber daya air yang diperlukan dan paling banyak diminati oleh manusia. Menurut [1] seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan kebutuhan airtanah meningkat. Salah satu contohnya berada di Kota Semarang. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang pada Tahun 2014 jumlah penduduk Kota Semarang mencapai 1.572.188 jiwa, dibandingkan pada Tahun 2013 yang hanya mencapai 1.572.105 jiwa. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan jumlah penduduk sebesar 11.083 jiwa [2]. Untuk memenuhi kebutuhan air, penduduk masih menggunakan sumur gali yang menyadap dari akuifer dangkal. Akuifer dangkal mudah rentan terhadap pencemaran akibat pengaruh kedalaman yang dangkal dan aktivitas manusia.

Berdasarkan permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian mengenai tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang difokuskan di Dataran Alluvial Kota Semarang. Hal ini dikarenakan di daerah tersebut terdapat formasi Alluvium (Qa) yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung dan formasi Damar (Qtd) yang terdiri dari batupasir tuffan, kolongmerat, dan breksi vulkanik [3]. Formasi tersebut menyebabkan adanya potensi pencemaran yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh permeabilitas material pasiran yang tergolong cepat (15-45 m/hari) sehingga mengakibatkan polutan yang meresap ke dalam tanah menyebar dengan cepat [4].

Permasalahan tersebut dapat diketahui dengan menggunakan metode *Groundwater occurrence, Overall lithology of aquitard, and Depth to groundwater table* atau yang disingkat (GOD). Ketiga parameter tersebut dapat diketahui dari hasil metode resistivitas dan pemetaan hidrogeologi. Metode resistivitas digunakan untuk mengetahui parameter G dan O, sedangkan pemetaan hidrogeologi untuk mengetahui parameter D. Menurut [5] metode GOD memiliki struktur yang sederhana dan

mampu mengelompokkan dengan cepat kerentanan airtanah terhadap pencemaran.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran daerah yang airtanahnya rentan terhadap pencemaran.

Kondisi Geologi

Berdasarkan susunan peta geologi lembar Magelang dan Semarang [3], susunan stratigrafi Dataran Alluvial Kota Semarang adalah sebagai berikut:

a. Alluvium (Qa)

Merupakan endapan aluvium pantai, sungai dan danau. Endapan pantai litologinya terdiri dari lempung, lanau, pasir dan campuran dengan ketebalan mencapai 50 m atau lebih. Endapan sungai dan danau terdiri dari kerikil, kerakal, pasir dan lanau dengan tebal 1-3 m. Bongkah tersusun andesit, batu lempung dan sedikit batu pasir.

b. Formasi Damar (Qtd)

Batuannya terdiri dari batupasir tufan, kolongmerat, dan breksi vulkanik. Batupasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berwarna berbutir halus-kasar, komposisi terdiri dari mineral mafik, felspar, dan kuarsa dengan massa dasar tufan, porositas sedang. Konglomerat berwarna kuning kecoklatan hingga kehitamaan, komponen terdiri dari andesit, basalt, batu apung, berukuran 0,5-5 cm, membundar tanggung hingga membundar baik, agak rapuh. Breksi vulkanik mungkin diendapkan sebagai lahar, berwarna abu-abu kehitamaan, komponen terdiri dari andesit dan basalt, berukuran 1-20 cm, menyudut-membundar tanggung agak keras.

Airtanah

Menurut [6] airtanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Pembentukan airtanah mengikuti siklus peredaran air di bumi yang disebut siklus hidrologi, yaitu proses alamiah yang berlangsung pada air di alam, yang

mengalami perpindahan tempat secara berurutan dan terus – menerus [7]. Berdasarkan sikap batuan terhadap air [8], karakteristik batuan sebagai berikut:

a. Akuifer

Akuifer adalah suatu lapisan air atau formasi geologi dimana formasi tersebut mengandung air. Contoh: pasir, kerikil, batugamping yang berlubang-lubang, dan lava yang retak-retak.

b. Akuiklud

Akuiklud adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang tidak dapat dilalui air dalam jumlah yang berarti, walaupun formasi tersebut mengandung air. Contoh: lempung, serpih, tuf halus, lanau dan berbagai batuan yang berukuran lempung.

c. Akuitar

Akuitar adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang kurang kedap air bila dibandingkan dengan akuiklud, tetapi masih dapat mentransmisikan atau meluluskan air walaupun dalam jumlah yang sedikit.

d. Akuifug

Akuifug adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang kedap air dan tidak mengandung air. Contoh : granit, batuan-batuan yang kompak, keras dan padat.

Berdasarkan kedudukan muka airtanah, menurut [9] dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam diantaranya:

a. Akuifer bebas (*Unconfined aquifer*)

Akuifer bebas merupakan akuifer dimana lapisan pembatas pada bagian bawah merupakan akuiklud (*aquiclude*) dan lapisan pembatas di bagian atas berupa muka airtanah.

b. Akuifer tertekan (*Confined aquifer*)

Akuifer tertekan merupakan akuifer yang dibatasi oleh akuiklud pada lapisan atas dan bawahnya dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer. Pada

lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir.

c. Akuifer semi tertekan (*Semi-confined aquifer*)

Akuifer semi-tertekan merupakan akuifer yang dibatasi oleh lapisan atas berupa akuitar (*aquitard*) dan lapisan bawahnya merupakan akuiklud.

Kerentanan Airtanah

Kerentanan airtanah adalah batas atau tingkat ketahanan suatu airtanah terhadap kontaminan yang berasal dari permukaan maupun bawah permukaan. Kerentanan airtanah tinggi jika faktor-faktor alam memberikan sedikit perlindungan sebagai perisai airtanah dari aktivitas kontaminasi pada permukaan tanah. Kerentanan airtanah rendah jika faktor-faktor alam memberikan perlindungan yang relatif baik sebagai perisai airtanah dari aktivitas kontaminasi [8].

Menurut [10] kerentanan air terhadap pencemaran terdiri dari dua macam yaitu:

a. Kerentanan intrinsik

Kerentanan airtanah secara intrinsik dipengaruhi oleh kondisi fisik daerahnya saja.

b. Kerentanan spesifik

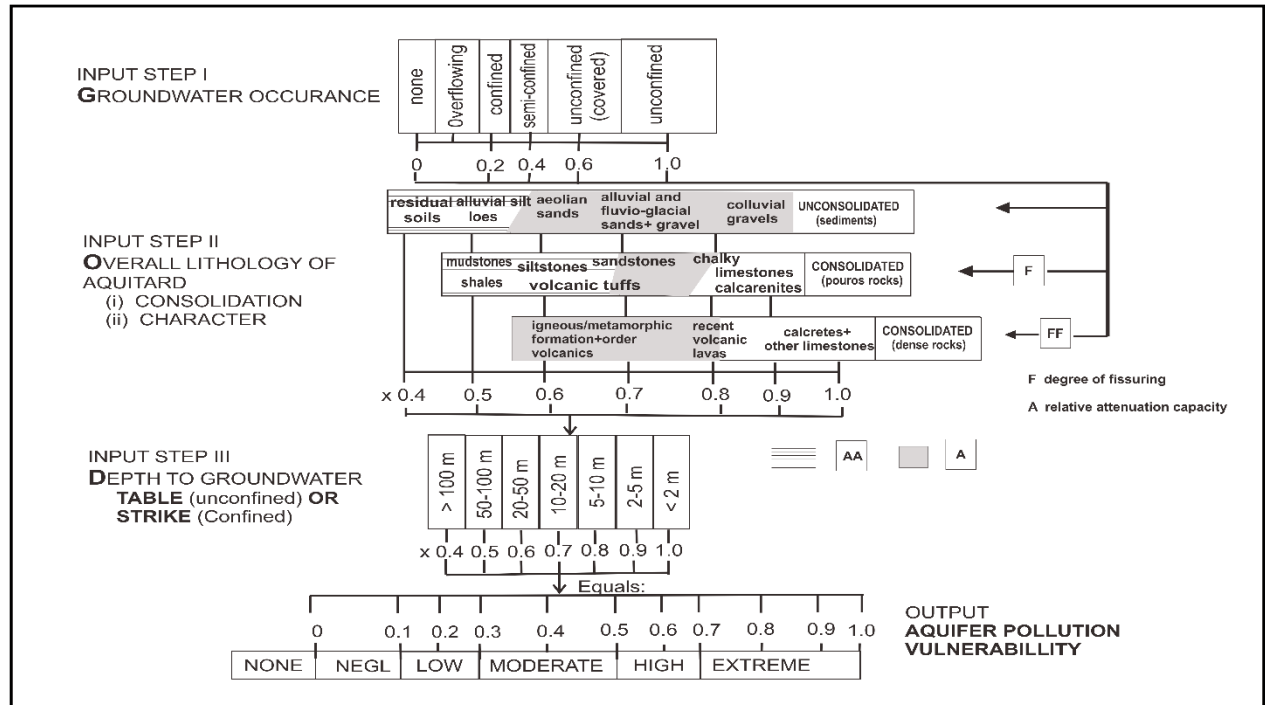
Kerentanan airtanah secara spesifik dipengaruhi oleh kondisi non fisik seperti aktivitas manusia sebagai sumber pencemaran. Berbagai macam aktivitas dari manusia yang menyebabkan pencemaran misalnya penggunaan lahan seperti pemukiman, pertanian, bangunan, dan sebagainya.

Metode GOD

GOD merupakan singkatan dari parameter sebagai berikut $G = \text{Groundwater occurrence}$, $O = \text{Overall lithology of aquifer or aquitard}$, dan $D = \text{Depth to groundwater table}$. Menurut [5] metode GOD adalah metode yang digunakan untuk menentukan kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Metode ini mampu mengelompokkan dengan cepat kerentanan suatu akuifer terhadap pencemaran [11].

Metode ini dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai bobot indeks kerentanan dengan tiga parameter, setiap

parameter memiliki bobot yang spesifik, yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem empiris GOD untuk penelitian kerentanan airtanah terhadap pencemaran [12]

Menurut [11] indeks GOD yang digunakan untuk mengevaluasi dan memetakan kerentanan akuifer yang disebabkan oleh pencemaran, dihitung dengan perkalian dari pengaruh tiga parameter dengan menggunakan persamaan (1).

$$\text{Indeks GOD} = C_a C_l C_d \quad (1)$$

dengan C_a adalah tipe akuifer, C_l adalah jenis litologi akuifer, dan C_d adalah kedalaman akuifer.

Metode Resistivitas

Metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat resistivitas listrik batuan untuk mendeteksi dan memetakan formasi bawah permukaan. Metode ini dilakukan melalui pengukuran beda potensial yang ditimbulkan akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi [13].

Pengukuran resistivitas dilakukan dengan 2 buah elektroda sebagai pengirim arus listrik

ke dalam bumi dan 2 buah elektroda untuk mengukur beda potensial di permukaan akibat dari injeksi/pengiriman arus listrik. Jarak elektroda menentukan jangkauan kedalaman lapisan yang diukur, sehingga makin besar jarak elektroda tersebut maka makin dalam lapisan batuan yang dapat diselidiki [14]. Menurut [15] hasil pengukuran resistivitas memberikan informasi tentang distribusi tahanan jenis bawah permukaan. Variasi nilai-nilai resistivitas batuan dan mineral bumi ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan [15]

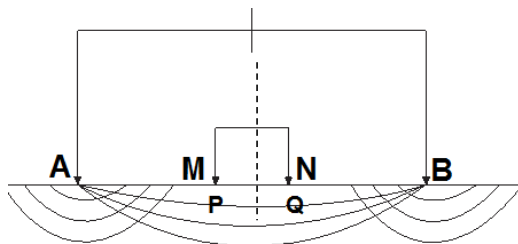
Material	Nilai resistivitas (Ωm)
Lempung	1–100
Lanau	3–70
Batupasir	$1-6,4 \times 10^8$
Limestone	$50-10^7$
Konglomerat	$2 \times 10^3-10^4$
Lava	$100-5 \times 10^4$
Andesit	$1,7 \times 10^2-4,5 \times 10^4$

Tabel 1. Lanjutan

Material	Nilai resistivitas (Ωm)
Breksi	10^2 - 10^5
Basalt	10 - $1,3 \times 10^7$
Tuff	2×10^3 - 10^5

Aliran Listrik dalam Bumi

Pengukuran metode geolistrik resistivitas dalam prakteknya di lapangan bertujuan untuk membandingkan potensial di suatu titik tertentu, sehingga diperlukan dua buah elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan. Elektroda tersebut berfungsi untuk menginjeksikan dan merespon arus, baik dari sumber ke medium atau sebaliknya. Dalam [16] Hendrajaya menyatakan bahwa, besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap kedua elektroda arus disebut faktor geometri. Jika pada permukaan bumi diinjeksikan dua sumber arus seperti pada Gambar 2, maka besarnya potensial disuatu titik P dapat ditunjukkan pada persamaan (2).



Gambar 2. Arah penjalaran arus dengan dua titik injeksi di permukaan bumi [17]

$$V(p) = \frac{\rho I}{2\pi r_1} - \frac{\rho I}{2\pi r_2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

dengan r_1 adalah jarak dari titik P ke sumber arus A (m) dan r_2 adalah jarak dari titik P ke sumber arus B (m).

Jika ada dua titik yaitu P dan Q yang terletak didalam bumi tersebut, maka besarnya beda potensial antara titik P dan titik Q dapat ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\Delta V = \left\{ \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right\} - \left\{ \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

(3)

dengan r_3 adalah jarak titik Q ke sumber arus A (m) dan r_4 adalah jarak titik Q ke sumber arus B (m).

maka didapatkan nilai beda potensial pada persamaan (4):

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (4)$$

sehingga didapatkan nilai resistivitasnya (ρ) pada persamaan (5)

$$\rho = \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right\}} \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Pada persamaan (5) dapat ditulis juga seperti pada persamaan (6)

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

dengan ΔV menyatakan potensial yang terukur (mV), I adalah arus yang terukur (mA), ρ adalah nilai resistivitas bahan/benda dalam satuan Ohm.m, dan k merupakan faktor geometri.

Resistivitas Semu

Bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan resistivitas (ρ) berbeda-beda, sehingga resistivitas terukur bukan merupakan resistivitas sebenarnya melainkan resistivitas semu (ρ_a) dengan asumsi di bawah permukaan terdiri dari satu lapisan homogen. Persamaan yang menunjukkan nilai resistivitas semu dapat dilihat pada persamaan (7) yang sama seperti pada persamaan (6) [18]:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

dengan ρ_a dalam satuan ohm merupakan tahanan jenis semu (*apparent resistivity*), k merupakan faktor geometri yang bergantung

pada susunan elektroda (konfigurasi), I dalam miliampere merupakan arus yang diinjeksikan dan V dalam volt adalah beda potensial yang terukur.

Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi elektroda cara *Schlumberger* dimana M , N digunakan sebagai elektroda potensial dan A , B sebagai elektroda arus. Untuk konfigurasi elektroda *Schlumberger*, spasi elektroda arus jauh lebih besar dari spasi elektroda potensial. Secara garis besar aturan elektroda ini dapat dilihat pada Gambar , sehingga diketahui bahwa jarak spasi antar elektroda arus adalah $2L$, sedangkan jarak spasi antar elektroda potensial adalah $2l$. Aturan yang harus dipenuhi bahwa (L) jauh lebih besar daripada l [19].

Faktor geometri untuk konfigurasi Schlumberger dapat dirumuskan sebagai berikut yang ditunjukkan pada persamaan (8)

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (8)$$

sehingga faktor geometri untuk konfigurasi pada Schlumberger ditunjukkan pada persamaan (9) dan (10).

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} - \frac{1}{L+l} + \frac{1}{L-l}\right)} \quad (9)$$

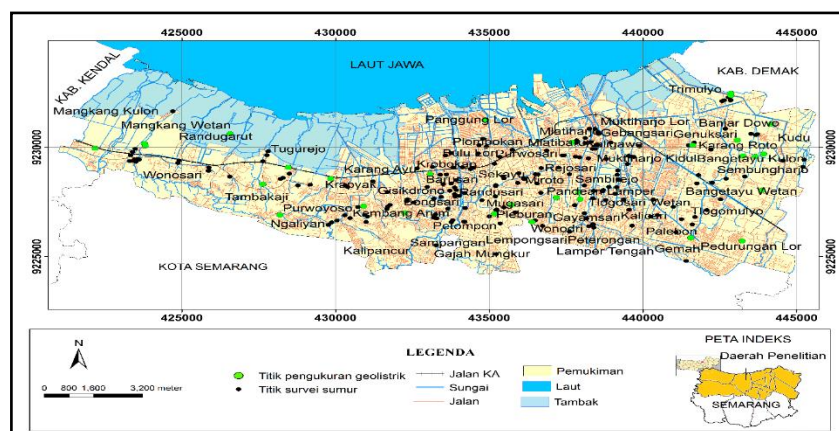
$$k = \pi \frac{(L^2 - l^2)}{2l} \quad (10)$$

Dengan demikian persamaan resistivitas semu untuk konfigurasi Schlumberger dapat ditunjukkan pada persamaan (11) [20].

$$\rho_a = \pi \frac{(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (11)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Dataran Alluvial Kota Semarang pada Bulan Mei-Agustus 2016. Daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Daerah penelitian

Metode Resistivitas

Pengambilan data resistivitas yang ditunjukkan warna hijau pada Gambar 3 menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan jarak bentangan 100 m. Data resistivitas diambil untuk mengetahui parameter dari metode GOD yaitu jenis akuifer (G) dan jenis litologi akuitar (O). Alat yang digunakan *resistivitymeter*, 2 buah elektroda potensial, 2

buah elektroda arus, 4 buah kabel, meteran, palu, multimeter, GPS, dan Aki.

Data lapangan yang diperoleh berupa koordinat, elevasi, arus listrik, beda potensial yang terukur, dan resistivitas semu. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *matching curve* dan *software* Progress 3.0. Hasil pengolahan data memperoleh nilai resistivitas batuan, kedalaman, dan ketebalan tiap lapisan.

Pemetaan Hidrogeologi

Pengambilan data hidrogeologi ini untuk mengetahui salah satu parameter GOD yaitu parameter D. Data hidrogeologi diambil dengan cara mengukur kedalaman sumur gali warga di daerah Dataran Alluvial Kota Semarang yang ditunjukkan titik warna hitam pada Gambar 3. Pengukuran kedalaman menggunakan meteran yang dimasukkan ke dalam sumur. Lokasi pengambilan data diplot dengan menggunakan GPS. Hasil yang diperoleh dicatat pada lembar pencatatan.

Data lapangan yang diperoleh berupa koordinat lokasi, elevasi, nilai kedalaman sumur dan nilai kedalaman muka airtanah. Data lapangan tersebut dimasukkan ke dalam komputer menggunakan *software* Microsoft Excell, kemudian data tersebut diolah dengan *software* tersebut sehingga memperoleh nilai muka airtanah. Nilai kedalaman yang digunakan sebagai parameter GOD yaitu kedalaman muka airtanah dangkal.

Metode GOD

Parameter yang telah diperoleh dari data resistivitas (G dan O) dan data hidrogeologi (D). Tiap parameter diklasifikasikan sesuai dengan indeks sesuai dengan Gambar 1 dan pembuatan peta. Ketiga parameter tersebut dihitung perkalian melalui proses *raster calculator* yang berada dalam perangkat lunak ArcGis, kemudian dari hasil perhitungan tersebut dilakukan pembobotan nilai dengan perbandingan didasarkan kelas yang telah ditentukan dalam pembobotan berdasarkan Gambar 1 yaitu dari 0-1, 0 merupakan sangat rendah dan 1 untuk kerentanan yang sangat tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang, dapat diketahui dengan analisis menggunakan metode GOD [5]. Parameter yang digunakan meliputi jenis akuifer, jenis

litologi akuitar, dan kedalaman muka airtanah dangkal. Parameter jenis akuifer dan jenis litologi akuitar diperoleh dari hasil pengukuran resistivitas dan parameter kedalaman muka airtanah diperoleh dari hasil pemetaan hidrogeologi.

Jenis Akuifer

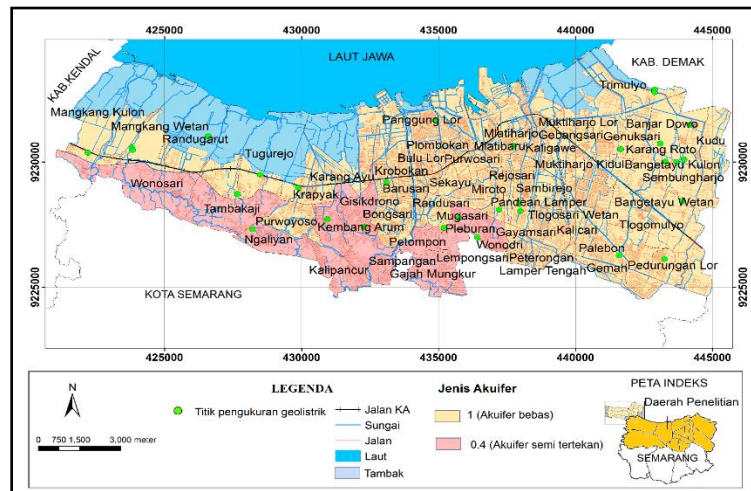
Jenis akuifer merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Jenis akuifer dapat diketahui berdasarkan kondisi bawah permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran resistivitas. Jenis akuifer yang berada di Dataran Alluvial terdiri dari akuifer bebas dan akuifer semi tertekan yang persebarannya dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

Penentuan nilai pada jenis akuifer dapat disesuaikan dengan acuan klasifikasi GOD yang dapat dilihat pada Gambar 1. Akuifer bebas dalam klasifikasi GOD memiliki nilai 1, lebih besar dari akuifer semi tertekan (Tabel 2). Akuifer semi tertekan dalam klasifikasi GOD memiliki nilai 0,4, lebih kecil dari akuifer bebas yang memiliki nilai 1 (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai parameter jenis akuifer

Jenis Akuifer	Nilai	Litologi
Akuifer semi tertekan	0,4	Breksi, Lempung
Akuifer bebas	1	Pasir, Lempung, Batupasir tufan

Penentuan nilai untuk akuifer bebas berdasarkan pada karakteristik akuifer bebas yang memiliki kecenderungan lebih dekat dengan permukaan dan tidak memiliki akuitar. Penentuan untuk akuifer semi tertekan berdasarkan karakteristik akuifer semi tertekan yaitu lapisan atas dibatasi oleh akuitar dan lapisan bawah dibatasi oleh akuiklud.



Gambar 4. Peta jenis akuifer

Jenis Litologi Akuitar

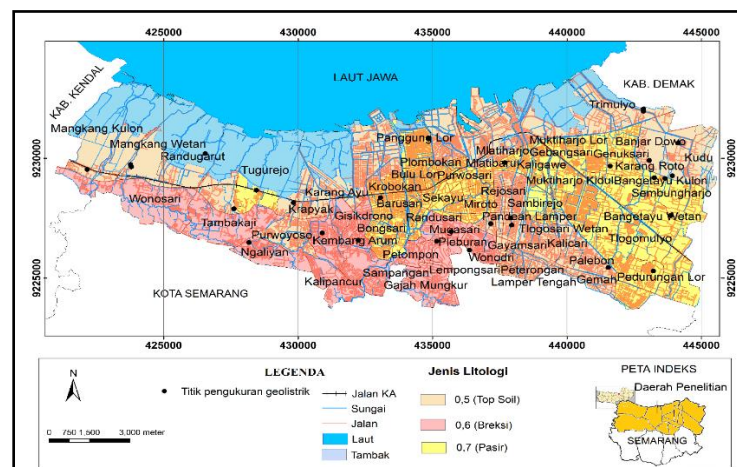
Jenis litologi akuitar merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk analisis tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Jenis litologi dapat diketahui berdasarkan kondisi bawah permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran resistivitas. Daerah penelitian memiliki jenis litologi akuifer yang terdiri dari top soil, pasir, dan breksi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

Penentuan nilai jenis litologi akuitar disesuaikan dengan acuan klasifikasi GOD

yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan nilai klasifikasi GOD lempung dan breksi memiliki nilai lebih rendah dari pasir, yaitu 0,5 dan 0,6 (Tabel 3). Pasir memiliki nilai lebih besar dibandingkan lempung dan breksi, yaitu 0,7 (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai parameter jenis litologi akuitar

Jenis Litologi Akuifer	Nilai
Top Soil	0,5
Breksi	0,6
Pasir	0,7



Gambar 5. Peta jenis litologi akuitar

Kedalaman Muka Airtanah Dangkal

Kedalaman muka airtanah dangkal merupakan salah satu parameter yang

digunakan untuk analisis tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Data kedalaman muka airtanah dangkal diperoleh dari hasil pengukuran sumur gali di Dataran Alluvial Kota Semarang. Hasil akhir parameter ini merupakan peta kedalaman muka airtanah dangkal.

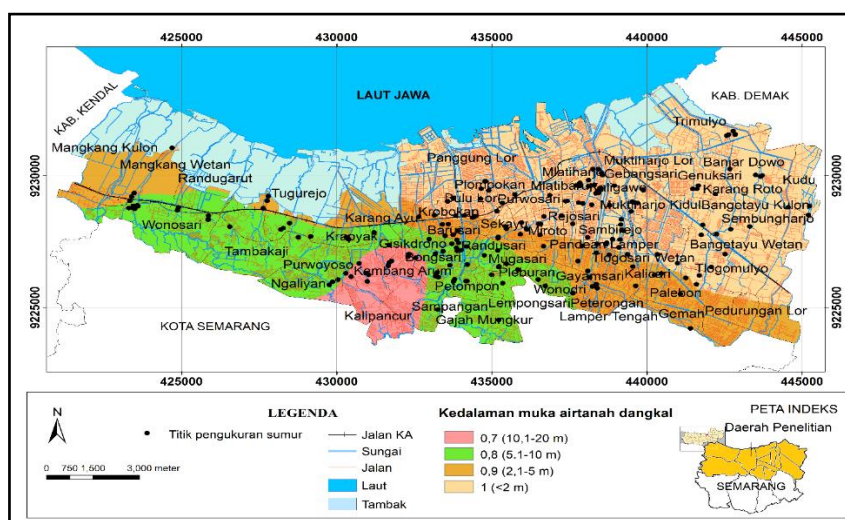
Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa kedalaman muka airtanah dangkal yang rendah tersebar di sebagian Utara dan Timur daerah penelitian dan bagian Timur Laut daerah penelitian. Daerah yang memiliki kedalaman muka airtanah dangkal tinggi tersebar di bagian Selatan yang meliputi Kelurahan Wonosari, Kelurahan Gisikdrono, Kelurahan Kembangarum, Kelurahan Bojongsalaman, Kelurahan Randusari, Kelurahan Kalibanteng

Kulon, dan Kelurahan Wonodri. Nilai parameter kedalaman muka airtanah dangkal.

Tabel 4 Nilai parameter kedalaman muka airtanah dangkal

Kedalaman Muka Airtanah Dangkal (m)	Nilai
10,1-20	0,7
5,1-10	0,8
2,1-5	0,9
<2	1

Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin dangkal muka airtanah, maka semakin besar nilai kerentanan terhadap pencemaran. Penentuan nilai kedalaman muka airtanah dangkal disesuaikan dengan acuan klasifikasi GOD yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 6. Peta kedalaman muka airtanah dangkal

Analisis Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran

Berdasarkan hasil metode GOD Indeks Dataran Alluvial Kota Semarang termasuk dalam tingkat kerentanan rendah hingga tingkat kerentanan tinggi. Pembagian tersebut didasarkan dari hasil penggabungan ketiga parameter GOD (Tabel 5).

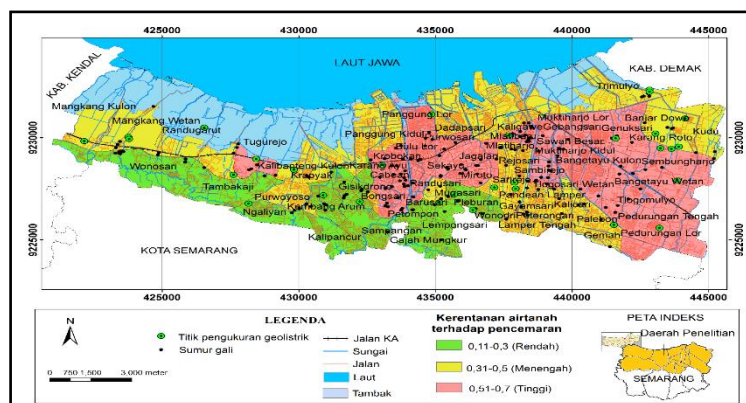
Berdasarkan peta kerentanan airtanah terhadap pencemaran (Gambar 6) bisa menjadi Gambaran secara umum wilayah rentan terhadap pencemaran. Metode ini melihat dari segi litologi dan hidrogeologi, sehingga tidak dapat menunjukkan zat-zat yang mengkontaminasi airtanah dangkal.

Tabel 5. Tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran dan persebarannya

Nilai	Tingkat kerentanan	Sifat	Persebaran (Kelurahan)
0,1-0,3	Rendah	Hanya dapat tercemar oleh polutan tertentu yang dibuang secara menerus dalam jangka waktu yang relatif lama.	Mugassari, Pleburan, Wonodri, Kalipancur Tambakaji, Ngaliyan, Gisikdrono, Manyaran, Kalibanteng Kidul, Kembangarum, Kalibanteng Kulon, Lempongsari, Petompon, Bendungan, Sampangan, Gajah Mungkur.

Tabel 5. Lanjutan

Nilai	Tingkat kerentanan	Sifat	Persebaran
0,31-0,5	Menengah/sedang	Dapat tercemar oleh sebagian polutan yang dibuang secara menerus.	Gemah, Palebon Kalicari, Lamper Lor, Peterongan, Lamper Kidul, Gayamsari, Tambakrejo, Pandean Lamper, Karangtempel, Kebonagung, Bugangan, Rejomulyo, Sarirejo, Rejosari, Kemijen, Krapyak, Purwoyoso, Mangkang Wetan, Mangkang Kulon, Randugarut, Trimulyo, Terboyo Kulon, Terboyo Wetan, Banjardowo, Karangroto, Kudu.
0,51-0,7	Tinggi	Dapat tercemar oleh semua polutan, kecuali yang memerlukan daya serap.	Genuksari, Gebangsari, Muktiharjo Lor, Sembungharjo, Penggaron Lor, Bangetayu Wetan, Kranggan, Kembangsari, Sekayu, Pindrikan Kidul, Miroto, Gabahan, Panggung Lor, Panggung Kidul, Dadapsari, Bulu Lor, Plombokan, Krobokan, Karangayu, Cabeled, Bojongsalaman, salaman Mloyo, Barusari, Bulustalan, Ngemplaksimongan, Bongsari.



Gambar7. Peta kerentanan airtanah terhadap pencemaran

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Parameter yang digunakan dalam analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran yaitu jenis akuifer, jenis litologi akuitar, dan kedalaman muka airtanah dangkal.
2. Kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang memiliki tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran termasuk dalam kategori kerentanan rendah hingga tinggi. Berikut ini adalah persebaran daerah yang rentan berdasarkan kategori rendah, menengah dan tinggi:
 - a. Daerah kerentanan airtanah terhadap pencemaran rendah tersebar di Kelurahan Mugassari, Pleburan, Wonodri, Kalipancur Tambakaji, Ngaliyan, Gisikdrono, Manyaran, Kalibanteng Kidul, Kembangarum, Kalibanteng Kulon, Lemponsari, Petompon, Bendungan, Sampangan, dan Kelurahan Gajah Mungkur.
 - b. Daerah kerentanan airtanah terhadap pencemaran menengah atau sedang tersebar di Kelurahan Gemah, Palebon

Kalicari, Lamper Lor, Peterongan, Lamper Kidul, Gayamsari, Tambakrejo, Pandean Lamper, Karangtempel, Rejosari, Sarirejo, Kudu, Kebonagung, Bugangan, Trimulyo, Kemijen, Krapyak, Purwoyoso, Mankang Wetan, Randugarut, Mangkang Kulon, Terboyo Kulon, Terboyo Wetan, Banjardowo, dan Kelurahan Karangroto

REKOMENDASI

Rekomendasi yang dilakukan untuk meminimalkan kerentanan airtanah terhadap pencemaran yaitu: (a). Membatasi adanya kegiatan yang berisiko tinggi untuk memperoleh keuntungan ekonomi dan mengurangi bahaya pencemaran lingkungan; (b). Melakukan tindakan hukum bagi operator dan pemegang perusahaan suatu industri, apabila mendirikan maupun tidak menggunakan prosedur yang baik dalam pengolahan limbah industri; (c). Melakukan pemantauan airtanah secara berkala meliputi kualitas dan kuantitas airtanah; (d). Menambah kawasan terbuka hijau untuk mengurangi pencemaran dan terbentuk ruang resapan air tanah; (e). Melakukan proses pengawasan pembuangan air limbah; (f). Adanya sosialisasi terkait pengelolaan air limbah rumah tangga; (g). Adanya kebijakan yang tepat (perencanaan kota dan daerah) terkait pemberian izin penggunaan lahan sebagai kawasan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pemerintah Kota Semarang (2015) Peraturan Walikota Semarang Nomor 9 Tahun 2015 tentang Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD) Kota Semarang Tahun 2016, Semarang.
- [2]. Volentino, D. (2013) Kajian Pengawasan Pemanfaatan Sumberdaya Air Tanah di Kawasan Industri Kota Semarang, *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, Vol.1, No.3, 265-274.
- [3]. Thanden, R.E., Sumadirdja, H., Richards, P.W., Sutisna, K., dan Amin, T.C. (1996) *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*, Edisi ke-2, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [4]. Wicaksono, D., dan Nurjani, E. (2013) Kajian Kerentanan Airtanah Bebas Terhadap Pencemaran di Kawasan Pesisir Parangtritis Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, *Jurnal Bumi Indonesia*, Vol. 2, No.3, 37-46.
- [5]. Foster, S.S.D. (1987) Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy, Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants; 38, *TNO Commission on Hydro Res, Proc. and Inform., Hague*, 69–86.
- [6]. UU No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.
- [7]. Kodoatie, R.J. (2012) *Tata Ruang Air Tanah*, Andi, Yogyakarta.
- [8]. Putranto, T.T. dan Kuswoyo, B. (2008) Zona Kerentanan Airtanah terhadap Kontaminan dengan Metode DRASTIC, *TEKNIK*, Vol. 29, No. 2, 110-120.
- [9]. Kruseman, G.P. dan de Ridder., N.A. (2000) *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, Second Edition, International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands.
- [10]. Widiastuti, A.P. dan Widyastuti (2012) Zonasi Kerentanan Airtanah Bebas terhadap Pencemaran dengan Metode APLIS di Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunung Kidul, *Jurnal Bumi Indonesia*, Vol. 1, No. 2, 38-46.
- [11]. Abdelmadjid, B. dan Omar, S. (2013) Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria), *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 7, No. 10, 949-960.
- [12]. Foster, S.S.D dan Hirata, R. (1988) *Groundwater pollution risk assessment—a methodology using available data*, Lima, WHO-PAHO-CEPIS Publication, Lima, Peru.
- [13]. Prapitari, A. dan Yulianto, T. (2013) Penggunaan Metode Resistivitas Resistivitas 3-Dimensi untuk Mengetahui Sebaran Limbah di TPA Jatibarang Kota Semarang, *Youngster Physics Journal*, Vol. 1, No. 4, 59-70.
- [14]. Salinita, S., Surachman, M., Nusantara, E., Bahtiar, A., Mulyadie, D., Sutisna, A., dan Satriya, B. (2010) Penelitian Penyebaran Mineralisasi Marginal dengan Menggunakan Alat Geolistrik Supersting R8/IP, *Laporan Akhir*, Kelompok Program Penerapan Teknologi Penambangan Mineral dan Batubara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.

- [15]. Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E. (1990) *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- [16]. Nurhidayah (2013) Aplikasi Metode Geolistrik untuk Mengetahui Pencemaran Limbah Pabrik di Sekitar Sungai di Daerah Genuk, *Skripsi*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [17]. Broto, S. dan Afifah, R.S. (2008) *Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schlumberger*, Teknik, Vol. 29, No. 2, 120-128.
- [18]. Loke, M.H. (2000) Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys, www.geo.mtu.edu/~ctyoung/LOKENOTE.PDF, Agustus 2000, diakses 19 April 2016
- [19]. Wijaya, L., 2009, Identifikasi Pencemaran Airtanah dengan Metode Resistivitas di Wilayah Ngringo Jaten Karanganyar, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.